

## A foszforvegyületek eloszlása jellegzetes hazai talajokban

FÜLEKY GYÖRGY és VARGA GYULA

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

A talaj foszforvegyületeinek a növények tápanyagellátása szempontjából legfontosabb részét a szervesetlen foszfátvegyületek képezik. Ezért a talaj szervesetlen foszfátvegyületeinek minőségi és mennyiségi ismerete, a műtrágyázás hatására abban bekövetkező változások nyomonkövetése elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt döntő fontosságú. A talaj szervesetlen foszfátjainak kémiai vegyületek szerinti szétválasztására régebben is történtek már próbálkozások. A kísérletek azonban nem jártak teljes sikerrel.

CHANG és JACKSON [6] 1957-ben egy olyan módszert tett közzé, amely viszonylag jó közelítéssel megvalósítja a fenti elképzelést. A talaj szervesetlen foszfátjait 5 főcsoportba osztják: gyengén kötött vagy másnéven vízoldható foszfátok, alumínium-, vas- és kalcium-foszfátok, valamint a redukálószerben oldódó vas- és alumínium-foszfátok csoportjára. A foszfátvegyületek elválasztását egymást követő extrahálással, semleges  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , semleges  $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , Na-citrát-ditionit és az ezt követő ismételt  $\text{NH}_4\text{F}$  és  $\text{NaOH}$  oldószerekkel végezték.

A módszert — közlése óta — világszerte elterjedten alkalmazzák a talajok szervesetlen foszfátvegyületeinek kialakulásával és elterjedtségével, valamint a növények foszforfelvételével és a műtrágyák talajokban végbemenő átalakulásával kapcsolatban végzett kutatásokban. Az eddigiiek során a módszert egyesek átalakítatlanul vagy kisebb változtatásokkal alkalmazták, mások pedig alapvetően megkérdőjelezték használhatóságát.

A legtöbb módosítás a vas- és alumínium-foszfátok tökéletesebb elválasztására irányult. A két vegyület talajokból történő extrahálása során két egymással ellentétes folyamat megy végbe. Egyrészt az ammónium-fluorid által feloldott alumínium-foszfát ismét leválhat a talajban levő vas-oxid felületén, másrészt a vas-foszfátok egy része hidrolízis útján feloldódhat az ammónium-fluoridban. Ezeknek a folyamatoknak a csökkentésére, illetve korrekcióba vételére számos módosítás ismeretes. Így: az ismételt ammónium-fluoridos extrahálásból számított korrekció [6]; az ammónium-fluoridos extraktumban mért foszfát 10 százalékának levonása az alumínium-foszfát mennyiségéből és hozzáadása a vas-foszfát értékhez [6, 31]; lúgos pH-jú ammónium-fluorid oldat alkalmazása [2, 11, 12, 17, 25, 32]; korrekció adszorpciómentes alapra [3, 4, 5, 13, 14, 28, 30]; tágabb oldószer/talaj arány alkalmazása [3, 4, 20]; korrekciós egyenlet alkalmazása [35]; és végül a szerzők egy részének véleménye szerint nincs szükség semmiféle korrekcióra, mivel a két folyamat éppen kienyenlíti egymást [9].

Az elválasztás másik alapvető problémája az a kevéssé korrigálható tény, hogy az ammónium-fluorid oldat jelentős mennyiségű kalcium-foszfátot is

old [3, 4, 16, 21, 33]. Tulajdonképpen a fluorapatit kivételével minden kalcium-foszfát oldódik bizonyos mértékben ammónium-fluoridban. Az oldékonyság a pH növelésével csökkenthető.

A CHANG és JACKSON módszerrel szemben felhozott ellenérvek között szerepel, hogy a kénsavas kivonás is kiold már bizonyos mennyiségű redukáló-szerben oldható vas-foszfátot. KHIN és LEEPER [20] szerint ezt is korrekcióba kellene venni. E szerzők szerint a redukáló-szerben oldható foszfor meghatározása során a hidrogén-peroxidos kezelés bizonyos mennyiségű szerves foszfort is beold már ebbe a frakcióba. WILLIAMS és munkatársai szerint [35] szükség van még egy ismételten kénsavas kivonásra is, mivel az első kivonás nem képes eltávolítani a nehezen oldódó kalcium-foszfátok teljes mennyiségét. KURMIES [21] pedig azt állítja, hogy a CHANG és JACKSON által leírtak szerint nincs lehetőség a szerves foszfátok vegyülettípusok szerinti elkülönítésére, csupán csoportokat lehet kialakítani. Szerinte a vas- és alumínium-foszfátok együttesen képeznek egy csoportot. További egy-egy csoportba sorolja a kalcium-foszfátokat, a szerves foszfort és a maradékfoszfort.

Az egyes foszforfrakciók minél tökéletesebb elválasztása mellett a kutatók arra törekedtek, hogy a különféle foszfátfrakciók foszfortartalmának meghatározására lehetőleg egységes és egyszerű módszert dolgozzanak ki. Egyre többen a MURPHY és RILEY [23] féle módszert használják erre a célra [1, 21, 22].

A módszer pontosságát is vizsgálták. CHANG és JACKSON szerint [6, 7] a párhuzamos minták között jó egyezés tapasztalható. A különféle foszfát-vegyületek formájában adott foszfor és a meghatározott foszfor jól egyeztek. Hasonlóan jó tapasztalatokat szereztek a módszer pontosságára és reprodukálhatóságára vonatkozóan mások is [19, 25].

Amint látható sok, egyes esetekben ellentétes vélemény alakult ki mind a CHANG és JACKSON módszerre, mind annak alkalmazhatóságára vonatkozóan. Vitathatatlan azonban az a tény, hogy a módszert világszerte kiterjedten és sikerrel alkalmazzák és hogy ez az egyetlen módszer, amely a talaj foszfát-vegyületeit azok kémiai, fizikai-kémiai tulajdonságai szerint igyekszik csoportosítani és meghatározni, és egyúttal bizonyos mértékig alkalmas a növény tápanyagigénye és a talaj tápanyagellátottsága közötti összefüggések vizsgálatára is.

A CHANG és JACKSON módszernek két nagy alkalmazási területe bontakozott ki az eddigiek során: egyrészt a szerves foszforvegyületeknek a növényi foszforfelvétellel való kapcsolatának és a talajhoz adott foszforvegyületek dinamikájának nyomonkövetése, másrészt a talajképződési folyamatoknak a P-dinamikára gyakorolt hatásának vizsgálata. Az utóbbi esetben természetesen a CHANG és JACKSON által leírt teljes frakcionálást végre kell hajtani, mivel a vizsgált talaj összes szerves foszfátfrakcióit ismerni kell, de az ilyen jellegű vizsgálatok során nem nélkülözhető a szerves foszfor meghatározása sem.

A két terület közül a módszernek a növénytáplálkozás területén való felhasználása a nagyobb jelentőségű. Az eddigi vizsgálatok azt mutatják, hogy a talajoktól, az éghajlati viszonyoktól és a termesztés körülményeitől függően a módszert teljes vagy rövidebb (az első négy foszfátfrakciót határozzák meg) formájában célszerű használni. A teljes módszer alkalmazására néha humid viszonyok között van szükség, valamint feltétlenül ott, ahol redukciós körülmények alakulnak ki a talajokban. Így az árasztásos rizstalajok esetében [24]

Az utóbbi esetben ugyanis előtérbe kerül a redukálószerben oldódó foszfátok szerepe a növény foszforfelvételénél. A módszer rövidített formáját leggyakrabban arid viszonyok között — amikor a kalcium-foszfátok jelentősége döntő — lehet alkalmazni. Ilyen viszonyok között ugyanis az első négy frakció foszfora játssza a döntő szerepet a növény táplálkozásban [27, 29], és ezért nevezték el ezeket a frakciókat „aktív frakcióknak”. Az eddigi vizsgálatok azt is kimutatták, hogy a talajokhoz adott foszfor 80–90%-a általában az első négy foszfátfrakcióban található meg [27]. Az adott foszfor elsősorban az adszorbeált foszfor és az ammónium-fluoridban oldható foszfor mennyiségét növeli. Néhol a vas- és kalcium-foszfátok mennyisége is nő, de kisebb mértékben, mint az előzőek. A foszforműtrágya adagolása után a foszfor kezdetben a felületen kötődik meg, majd kalcium- és alumínium-foszfátok képződnek. A kalcium-foszfátok növekedése nem mindig állapítható meg egyértelműen, mivel a kalcium-foszfátok részben már az ammónium-fluoridos kivonás során is oldódnak [33]. Az idő múlásával CHANG és munkatársai [7, 8] vizsgálatai szerint a vas-foszfátok mennyisége nő. Idézett szerzők ezt a változást a vas-foszfátok csekély oldékonyságával magyarázzák. A redukálószerben oldható foszfor mennyisége csak nagyon lassan változik. Az adott foszfor beépülése ebbe a frakcióba és a frakcióból történő kioldódása egyaránt lassan megy végbe [26].

### Vizsgálati anyag és módszer

A CHANG és JACKSON módszer agrokémiai célú adaptálása során a fentebb említett okok, valamint elővizsgálataink alapján (miszerint talajaink az „aktív frakciókban” viszonylag kevés vas- és alumínium-foszfátot tartalmaznak) a frakcionálási eljárásnak csupán az első négy tagját tartottuk fontosnak megvizsgálni. Célunk az volt, hogy a módszer reprodukálhatóságát és alkalmazhatóságát megvizsgáljuk, valamint képet kapjunk néhány jellegzetes hazai talajban a szervesetlen foszfátvegyületek eloszlásáról. Talajainkra ugyanis ilyen jellegű vizsgálatok még kevésbé ismertek és elsősorban a szerves foszfor frakcionálására és a foszfát megkötődésre találhatók hazai adatok [10, 18].

A CHANG és JACKSON által közzétett eredeti leíráshoz képest céljainknak megfelelően változtatásaink a következők:

1. Az ammónium-kloridos kivonatnak is meghatároztuk a foszfortartalmát, mivel az a nemzetközi szakirodalom adatai szerint jelentős lehet és még jelentősebb növény táplálkozási szerepe.
2. A kalcium-foszfátok oldékonyságának csökkentése céljából az ammónium-fluorid oldat pH-ját 8,2-re növeltük.
3. Valamennyi kivonatból egységes eljárással [23] határoztuk meg a foszfort. Az ammónium-fluoridos kivonathoz a szín előhívása előtt mindig bór-savat adtunk a fluorid ionok zavaró hatásának megszüntetésére.

Ezek mellett több olyan vizsgálatot is végeztünk, amelyek nem jelentik a CHANG—JACKSON frakcionálási eljárás módosítását, de ezek elvégzése eredményeink értékeléséhez szükségesnek mutatkozott:

- Megmértük az ammónium-fluoridban és a nátrium-hidroxidban oldódó szerves foszfor mennyiségét,

1. táblázat

## Talajvizsgálati adatok

| (1)<br>Talajminták száma és típusa                 | (2)<br>Mintavétel<br>mélysége<br>cm | pH               |     | (3)<br>Humusz<br>%<br>% | CaCO <sub>3</sub><br>% |
|--|-------------------------------------|------------------|-----|-------------------------|------------------------|
|  |                                     | H <sub>2</sub> O | KCl |                         |                        |
| 1. Őrszentmiklós (meszes homok)                    | 0-20                                | 7,9              | 7,9 | 0,4                     | 14                     |
| 2. Nyírlúgos (savanyú homok)                       | 0-20                                | 5,9              | 5,9 | 0,5                     | 0                      |
| 4. Szarvas (szolonyeces réti talaj)                | 0-10                                | 7,3              | 7,0 | 2,7                     | 0                      |
| 5. Palotás (réti szolonyec)                        | 6-15                                | 5,4              | 5,0 | 4,1                     | 0                      |
| 6. Apaj (szoloncsák szolonyec)                     | 0-3                                 | 7,9              | 7,6 | 5,1                     | 10                     |
| 7. Mezőnagymihály (réti talaj)                     | 0-20                                | 6,3              | 5,6 | 4,8                     | 0                      |
| 8. Kapoly (barnaföld)                              | 0-20                                | 6,4              | 6,0 | 2,2                     | 0                      |
| 9. Nagyrecse (agvagbemosódásos barna<br>erdőtálat) | 0-20                                | 6,1              | 5,7 | 6,2                     | 0                      |
| 10. Pesthidegkút (barnaföld)                       | 0-20                                | 6,2              | 5,8 | 1,6                     | 0                      |
| 11. Martonvásár (erdőmaradványos<br>csernozjom)    | 0-20                                | 7,5              | 6,9 | 2,3                     | 12                     |
| 12. Martonyvásár (erdőmaradványos<br>csernozjom)   | 0-20                                | 7,6              | 6,2 | 2,7                     | 11                     |
| 15. Nagyhöresög (mészlepedékes<br>csernozjom)      | 0-20                                | 7,6              | 7,3 | 3,5                     | 3,5                    |

2. táblázat

A talajok szervesetlen foszforfrakciói  
/ppm P/

| (1)<br>Talajminta<br>száma | (2)<br>I<br>NH <sub>4</sub> Cl | (3)<br>II<br>NH <sub>4</sub> F | (4)<br>III<br>NaOH | (5)<br>s IV<br>H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | (6)<br>Szerves-II + III<br>és<br>maradék P | (7)<br>Σ (2)-(6) | (8)<br>Összes<br>foszfor |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|---|--|------------------|--------------------------|
| 1.                         | 5,4                            | 10                             | 4,6                | 210   | 98   | 328              | 315                      |
| 2.                         | 4,5                            | 30                             | 34,0               | 66  | 116  | 250              | 228                      |
| 4.                         | 5,3                            | 81                             | 172,0              | 105   | 425  | 820              | 788                      |
| 5.                         | 1,5                            | 46                             | 201,0              | 76  | 660  | 986              | 1000                     |
| 6.                         | 13,0                           | 15                             | 5,0                | 577   | 215  | 825              | 803                      |
| 7.                         | 1,4                            | 24                             | 41,0               | 93  | 410  | 570              | 572                      |
| 8.                         | 1,7                            | 12                             | 23,0               | 281   | 258  | 575              | 589                      |
| 9.                         | 8,3                            | 49                             | 121,0              | 109   | 419  | 708              | 715                      |
| 10.                        | 1,4                            | 18                             | 46,0               | 197   | 313  | 576              | 595                      |
| 11.                        | 2,1                            | 10                             | 3,7                | 286   | 289  | 590              | 584                      |
| 12.                        | 8,0                            | 31                             | 4,0                | 410   | 321  | 774              | 734                      |
| 15.                        | 2,2                            | 18                             | 5,5                | 441   | 457  | 923              | 947                      |
| CV <sub>1</sub> %          | 22                             | 10-19                          | 2,5-16             | 8   | 9  | 4                | 5                        |
| CV <sub>2</sub> %          | 10                             | 3-7                            | 0,7-2,7            | 1,5   | —  | —                | —                        |

— Meghatároztuk az első négy frakció utáni talajmaradék összes foszfortartalmát.

Az alkalmazott frakcionálási eljárás a fentieknek megfelelően a következő volt:

- I. frakció: 1,0 n  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -oldattal 30 percen át történő extrahálás.
- II. frakció: 0,5 n  $\text{NH}_4\text{F}$  (pH = 8,2) oldattal történő kivonás. Rázatási idő: 1 óra.
- III. frakció: 0,1 n  $\text{NaOH}$ -os kezelés. A rázatás időtartama: 17 óra.
- IV. frakció: 0,5 n  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -as kivonás. Rázatási idő: 1 óra.

A II. és III. frakciókból koncentrált kénsavval kicsaptuk az oldott szerves anyagot és csontszén hozzáadása után leszűrtük. A szűrőpapírt a csontszéne adszorbeált szerves foszforral együtt Kjeldahl-lombikba tettük és elroncsoltuk. Az így kapott ronszolatokból meghatároztuk a foszfort. A IV. frakció utáni talajmaradékot megszáritottuk, súlyát lemértük és Kjeldahl-lombikban szintén elroncsoltuk az összes foszfor meghatározása céljából. A foszfor meghatározására minden esetben MURPHY és RILEY [23] módszerét használtuk. A meghatározásokat 3–3 független bemérésből, 2–2 fotometrá-lással hajtottuk végre. A talajok rázatását Wágner-féle rázógépen végeztük. A talajmaradékot az oldószerektől centrifugálással választottuk el. Külön talajmintából WALKER és ADAMS [34] szerint meghatároztuk az összes és a szerves foszfort (3. táblázat), míg a 2. táblázatban feltüntetett összes foszfortartalmat kénsav-peroxidos ronszolással [15] határoztuk meg.

### Vizsgálati eredmények és értékelések

Vizsgálataink céljára 12 talajmintát választottunk ki, amelyek jellegzetes magyarországi talajtípusokat képviselnek. A vizsgálatokhoz a talaj felső szintjéből vett mintákat használtuk. A talajminták kiválasztása során arra törekedtünk, hogy a mintanyag lehetőleg tartalmazzon olyan mintákat is, amelyekben a kalcium-foszfátok mellett vas- és alumínium-foszfát is előfordul lehetőleg jól mérhető mennyiségben. Ezért savanyú réti és barna erdőtalajok is szerepelnek vizsgálandó mintáink között. A talajokat a frakcionáláshoz, az összes és szerves foszfor meghatározásához 0,25 mm-es szitán átszitáltan használtuk. A talajok néhány fontosabb vizsgálati adata az 1. táblázatban látható.

A frakcionálással nyert adatokat, valamint a többi meghatározással kapott kísérleti eredményeket a 2. és 3. táblázatokban foglaltuk össze.

A 2. táblázat adataiból látható, hogy az I. frakció foszforértéke több talajnál is nagy. Így az 1., 2., 4., 6., 9. és 12. számú talajoknál. Az irodalmi adatok szerint várható 1–2 ppm értéket a vizsgált talajok közül csak az 5., 7., 8., 10., 11. és 15. számú talajok mutatták. Úgy tűnik, hogy ennek oka az előbbi talajoknál az esetleges korábbi trágyázás, illetve a terület legelőként történt hasznosításában keresendő.

A II. és III. frakció foszforértéke a várakozásnak megfelelően elsősorban a 4. és 5. számú réti talajok, illetve a 9. számú agyagbemosódásos barna erdőtalaj esetében volt a legnagyobb. Az elővizsgálatok során ezekben a talajokban találtunk jelentősebb mennyiségű (kb. 100–100 ppm) redukálószerben oldható foszfort is. Viszonylag nagy volt még a II. frakció foszfortartalma a sava-

nyú pH-jú talajoknak és természetesen a 12. számú trágyázott talajnak. Ez utóbbi talaj, a 11. számú, több mint tíz éve nem trágyázott kontroll talajhoz viszonyítva, az I. és II. frakciókban a trágyázott meszes talajokra jellemző jellegzetes foszfornövekedést mutat és a III. frakció foszforértéke pedig a trágyázott csernozjomokra jellemző módon (a kalciumfoszfátok dominálnak) alig változik.

A III. frakció foszforértéke és a vizsgált talajok kalcium-karbonát tartalma között fordított arányosság áll fenn. A vas-foszfát azokban a talajokban képződhet jelentősebb mennyiségben, ahonnan a kalcium-karbonát már kimosódott.

A IV. frakció, tehát a kalcium-foszfát mennyisége az „aktív frakciókat” tekintve a vizsgált talajok közül 8-ban domináló, de az összes többiben is jelentős mennyiségű volt. Ez azokkal a sajátos feltételekkel magyarázható, melyek mellett hazai talajaink képződtek (többnyire mésztartalmú anyakőzet, mérsékelt kilúgzás, arid viszonyok stb.).

A kalcium-foszfát frakció meghatározása során a 4. és 7. számú talajoknál a frakciók átlagos szórásától messze elütő, kiugró értékeket is kaptunk, főleg akkor, ha a talaj valamely okból előkezelt volt. E két talajnál a párhuzamos meghatározások során ugyanis voltak olyan kiugró értékek, amelyek az átlagértéknél 100%-kal is nagyobbak voltak. Ezek a kiugró értékek nem befolyásolták a korábbi frakciók (I., II., III.) foszforértékét, de a talajmaradék összes foszfortartalmát arányosan csökkentették. Hasonló viselkedést tapasztaltunk a kalcium-foszfát frakciónál — itt fel nem tüntetett — más talajok esetében is. Ezek a talajok is a 4. és 7. számú talajokhoz hasonló tulajdonságokkal rendelkeztek (pH,  $\text{CaCO}_3$ , szervesetlen foszforfrakciók aránya). A kérdés érdekessége miatt erre a problémára egy későbbi munkában még visszatérünk.

A 2. táblázat 7 és 8-as számú oszlopaiban a frakcionálási eljárással kapott foszforértéket hasonlítottuk össze a külön bemérésből meghatározott összes foszforral. A vizsgált 12 talajminta átlagában, valamint az egyes talajok esetében is a két úton kapott értékek  $P = 5\%$ -os valószínűségi szinten nem különböztek egymástól. Ez azt mutatja, hogy nincs foszforvesztés az eljárás során, bár a felhasznált talajmennyiség kevés és több munkafolyamat követi egymást.

A frakcionálási eljárással kapott adatok (az egyes foszfátfrakciók foszforértékei) matematikai értékelésekor mind a bemérések, mind pedig a paralellek közötti szórást meghatároztuk. Az adatokat a matematikai értékelés során ésszerűnek látszott az egyes kivonatokban mért értékek nagysága szerint csoportosítani. Ennek megfelelően egy-egy frakcióra egynél több CV-értéket is megadtunk. A vonatkozó CV-értékeket a 2. táblázat tartalmazza, ahol  $CV_1$  a független bemérések közötti,  $CV_2$  pedig a paralellek (egyazon beméréseken belüli) közötti százalékos szórást mutatja. A CV-értékekből kitűnik, hogy a frakcionálási eljárás reprodukálhatósága (természetesen az igényes rutin-vizsgálatokhoz nélkülözhetetlen kellő gondosság és begyakorlás után) a vizsgált talajokon kielégítő.

A 3. táblázatban a frakcionálási eljárás során a II. és III. frakciókban kioldódó szerves foszfor mennyiségét hasonlítottuk össze a külön mintából meghatározott összes szerves és szervesetlen foszforral. A százalékos értékekből látható, hogy a vizsgált talajok összes foszforának 9–63%-a volt szerves kötésben. Sok talajnál a szerves foszfor jelentős része (50–100%-a) már a II. és III. foszforfrakciók extrahálása során kioldódott. Ez elsősorban a



## 3. táblázat

## A talaj foszforvegyületeinek megoszlása

| (1)<br>Talajminta<br>száma | (2)<br>Összes P<br>ppm | (3)<br>Szervetlen P |                       | (4)<br>Szerves P |                       | (5)<br>Szerves P a II. és<br>III. frakcióban |                     |
|----------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|--|---------------------|
|                            |                        | ppm                 | az összes<br>P %-ában | ppm              | az összes<br>P %-ában | ppm  | szerves P<br>%-ában |
| 1.                         | 292                    | 265                 | 91                    | 27               | 9                     | 17   | 63                  |
| 2.                         | 208                    | 168                 | 81                    | 40               | 19                    | 50   | 100                 |
| 4.                         | 724                    | 576                 | 80                    | 148              | 20                    | 87   | 59                  |
| 5.                         | 910                    | 334                 | 37                    | 576              | 63                    | 178  | 31                  |
| 6.                         | 821                    | 637                 | 78                    | 184              | 22                    | 37   | 20                  |
| 7.                         | 525                    | 310                 | 59                    | 215              | 41                    | 106  | 49                  |
| 8.                         | 532                    | 355                 | 67                    | 177              | 33                    | 79   | 45                  |
| 9.                         | 695                    | 298                 | 43                    | 397              | 57                    | 152  | 38                  |
| 10.                        | 537                    | 298                 | 55                    | 239              | 45                    | 82   | 34                  |
| 11.                        | 579                    | 332                 | 57                    | 247              | 43                    | 19   | 8                   |
| 12.                        | 782                    | 507                 | 65                    | 275              | 35                    | 33   | 12                  |
| 15.                        | 984                    | 518                 | 53                    | 466              | 47                    | 88   | 19                  |

homok és a réti talajok esetén volt megfigyelhető, ahol is a szerves anyag minősége indokolja a szerves foszfor nagymértékű oldódását. A 11., a 12. és 15. számú csernozjom talajoknál viszont a szerves foszfornak csak 8–19%-a oldódott fel a II. és III. foszfátfrakciók extrahálására alkalmazott oldószerekben.

A táblázatokban bemutatott adatokból az is megállapítható — bár nem volt célunk ennek vizsgálata —, hogy már az általunk vizsgált frakciók foszforeloszlása is visszatükrözi a talajok képződésének körülményeit és feltételeit. Így pl. : a homok talajok esetében az összes és a szerves foszfor mennyisége egyaránt kicsi. A foszfor túlnyomó többségét a szervetlen foszfátok alkotják és a szerves foszfor zöme könnyen oldatba vihető már a szervetlen foszfátok kivonása során is. A csernozjom talajoknál viszont mindkét érték nagy, a szerves foszfor a szervetlen foszfátok kivonása során alig oldódik és a szervetlen foszfátok között a kalcium-foszfátok dominálnak. A réti talajoknál a szervetlen foszfátok nagyobb részét a vas- és alumínium-foszfátok teszik ki stb.

## Összefoglalás

Tizenkét jellegzetes hazai talaj felső szintjéből vett mintáiban vizsgáltuk meg a foszfor eloszlását. A szervetlen foszfor frakcionálását CHANG és JACKSON eljárása szerint, céljainknak megfelelő kisebb módosításokkal végeztük. A frakcionálási eljárás során csak az adszorbeált, alumíniumhoz, vashoz és kalciumhoz kötött foszfátfrakciókat különítettük el. A frakcionálás utáni talajmaradékból meghatároztuk az összes foszfort, valamint az ammónium-fluorid és a nátrium-hidroxid oldószerekkel kioldható szerves foszfor mennyiségét és külön mintákból az összes szerves foszfor mennyiségét is. A szerves és szervetlen foszfor eloszlása az egyes talajokban a talajtípusra jellemző módon

váltakozott. A gyengén kötött foszfátok mennyisége a trágyázott vagy a lelelőként hasznosított talajoknál volt számottevő. Az alumínium- és a vas-foszfátok mennyisége elsősorban a réti és az agyagbemosódásos barna erdőtalajban volt jelentős. A vas-foszfát mennyisége és a talaj kalcium-karbonát tartalma között fordított arányosság volt megfigyelhető. Az elővizsgálatok során a viszonylag nagy mennyiségű alumínium- és vas-foszfátot tartalmazó talajokban mutattunk ki számottevő (kb. 100–100 ppm) redukálószerben oldható foszfort. Az „aktív frakciókban” a kalcium-foszfátok mennyisége a vizsgált talajok közül 8-ban domináló, de az összes többiben is jelentős mennyiségű volt. A vizsgált talajok szervesetlen foszfátfrakcióinak reprodukálhatósága kielégítő. Az eljárás pontossága lehetővé teszi, hogy a módszert a talajhoz adott foszforműtrágyák változásainak nyomonkövetésére alkalmazzuk.

### Irodalom

- [1] ALEXANDER, T. G. & ROBERTSON, J. A.: Ascorbic acid as a reductant for inorganic phosphorus determination in Chang-Jackson fractionation procedure. *Soil Sci.* **110.** 361–362. 1970.
- [2] ASZKINAZI, D. L., GINZBURG, K. E. & LEBEDEVA, L. S.: Mineralnie formi foszfora v pocsve i metodi ih opredelenija. *Pocsvoved.* (5) 6–20. 1963.
- [3] BROMFIELD, S. M.: Phosphate sorbing sites in acid soils. I. An examination of the use of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminium-bound phosphate in phosphated soil. *Aust. J. Soil Res.* **5.** 93–102. 1967.
- [4] BROMFIELD, S. M.: Phosphate sorbing sites in acid soils. II. An examination of the use of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminium-bound phosphate in partially-phosphated systems. *Aust. J. Soil Res.* **5.** 225–243. 1967.
- [5] BROMFIELD, S. M.: The inadequacy of corrections for resorption of phosphate during the extraction of aluminium-bound soil phosphate. *Soil Sci.* **109.** 388–390. 1970.
- [6] CHANG, S. C. & JACKSON, M. L.: Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* **83.** 133–144. 1957.
- [7] CHANG, S. C. & JACKSON, M. L.: Soil phosphorus fractions in some representative soils. *J. Soil Sci.* **9.** 109–119. 1958.
- [8] CHANG, S. C. & CHU, W. K.: The fate of soluble phosphate applied to soils. *J. Soil Sci.* **12.** 286–293. 1961.
- [9] CHANG, S. C. & LIAW, F. H.: Separation of aluminium phosphate from iron phosphate in soils. *Science.* **136.** 386. 1962.
- [10] FÁBRY, Gy.-né: Szerveskötésű foszforfrakciók hazai talajainkban. *Agrokémia és Talajtan.* **9.** 245–260. 1960.
- [11] FIFE, C. V.: An evaluation of ammonium fluorides as a selective extractant for aluminium-bound soil phosphate. I. Preliminary studies on non-soil system. *Soil Sci.* **87.** 13–21. 1959.
- [12] FIFE, C. V.: An evaluation of ammonium fluorides as a selective extractant for aluminium-bound soil phosphate. II. Preliminary studies on soils. *Soil Sci.* **87.** 83–88. 1959.
- [13] FIFE, C. V.: An evaluation of ammonium fluorides as a selective extractant for aluminium-bound phosphate. III. Detailed studies on selected soils (1). *Soil Sci.* **93.** 113–123. 1962.
- [14] FIFE, C. V.: An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminium-bound phosphate. IV. Detailed studies on soils (2). *Soil Sci.* **96.** 112–120. 1963.
- [15] FÜLEKY, Gy.: Néhány hazai talajtípus összes foszfortartalmának összehasonlító vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan.* **22.** 311–318. 1973.
- [16] GINZBURG, K. E. & LEBEDEVA, L. S.: Metodika opredelenija mineralnih form foszfatov pocsvi. *Agrohimiya.* (1) 125–135. 1971.



- [17] GLENN, R. C. et al.: Flow sheet for soil phosphate fractionation. Agron. Abstr. **9**. 1959.
- [18] HAÁS, Á.-né: Foszformegkötődés és foszfátmobilizáció. Kandidátusi Értekezés. Budapest. 1961.
- [19] KHANNA, P. K. & ULRICH, B.: Phosphatfraktionierung im Boden und isotopisch austauschbares Phosphat verschiedener Phosphatfraktionen. Z. Pfl. Ernähr. Düng. Bodenk. **117**. 53–65. 1967.
- [20] KHIN, A. & LEEPER, G. W.: Modifications in Chang and Jackson's procedure for fractionating soil phosphorus. Agrochimica. **4**. 246–254. 1967.
- [21] KURMIES, B.: Zur Fraktionierung der Bodenphosphate. Phosphorsäure **29**. 118–151. 1972.
- [22] MATT, K. J.: Colorimetric determination of phosphorus in soil and plant materials with ascorbic acids. Soil Sci. **109**. 214–220. 1970.
- [23] MURPHY, J. & RILEY, J. P.: A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. **27**. 31–36. 1962.
- [24] PATRICK, W. H. & MAHAPATRA, I. C.: Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. Adv. Agron. **20**. 323–359. 1968.
- [25] PETERSEN, G. W. & COREY, R. B.: A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **30**. 563–565. 1966.
- [26] SHELTON, J. E. & COLEMAN, N. T.: Inorganic phosphorus fractionations and their relationship to residual value of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **32**. 91–94. 1968.
- [27] SMITH, A. N.: The supply of soluble phosphorus to the wheat plant from inorganic soil phosphorus. Plant & Soil **22**. 314–316. 1965.
- [28] SMITH, A. N.: Distinction between iron and aluminium phosphate in Chang–Jackson's procedure for fractionating inorganic soil phosphorus. Agrochimica. **9**. 162–168. 1965.
- [29] SMITH, A. N.: Fractionation of inorganic phosphorus in soils. The Chang and Jackson fractionation procedure: its limitation and uses. AGRIC Digest. (17) 10–19. 1969.
- [30] SMITH, A. N.: Corrections for resorption of phosphate during the extraction of aluminium-bound soil phosphate. Soil Sci. **113**. 55–56. 1972.
- [31] SOMMER, G.: Untersuchungen zur Fraktionierung des anorganischen Phosphates in Boden. Z. Pfl. Ernähr. Düng. Bodenk. **113**. 215–226. 1966.
- [32] URIYO, A. P. & KESSEBA, A.: An evaluation of  $\text{NH}_4\text{F}$  as a selective extractant for aluminium phosphate in two soils of the tropics. Geoderma. **8**. 207–220. 1972.
- [33] VAHTRAS, K. & WIKLANDER, L.: Phosphate studies in soils with special reference to Chang and Jackson's fractionation procedure. Lantbr. Högsk. Ann. **36**. 115–134. 1970.
- [34] WALKER, T. W. & ADAMS, A. F. R.: Studies on soil organic matter: I. Soil Sci. **85**. 307–318. 1958.
- [35] WILLIAMS, J. D. H., SYWES, J. D. & WALKER, T. W.: Fractionation of soil inorganic phosphate by a modification of Chang and Jackson's procedure. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **31**. 763–739. 1967.

*Érkezett: 1973. október 29.*

## The Distribution of Phosphorus Compounds in Characteristic Hungarian Soils

GY. FÜLEKY and GY. VARGA

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences,  
Budapest

### Summary

The distribution of phosphorus was investigated in samples collected from the top-layer of 12 characteristic Hungarian soils. The fractionation of inorganic phosphorus was carried out with the CHANG—JACKSON — method, slightly modified to suit our purposes. During the fractionation procedure we separated only the adsorbed — and the Al-, Fe- and Ca-bound phosphates. From the ammonium fluoride- and sodium hydroxide extracts — in addition to inorganic P-forms —, organic P was also determined. After the fractionation procedure residual P was measured in the soil residue, while total and organic P-contents were determined in separate samples.

The distribution of organic and inorganic P varied in the different soils in a way characteristic of the soil type. The amount of weakly bound phosphates was found to be considerable in fertilized soils or in those which had been grazed intensively. Al- and Fe-phosphates were significant, first of all, in meadow soil and in brown forest soil with clay illuviation. Between the amount of Fe-phosphate and the  $\text{CaCO}_3$ -content of the soil a negative correlation could be observed. In the course of the preliminary examinations a considerable quantity (100 ppm) of reductant soluble phosphate was detected in soils containing relatively large amounts of Al- and Fe-phosphates. In eight of the examined soils Ca-phosphates dominated, and they were considerable in all the others, too. The reproducibility of the method, for each inorganic phosphate fraction, was satisfactory. The accuracy of the procedure makes it possible to use this method for tracing the changes in the P-fertilizers given to the soil.

*Table 1.* Soil analytical data. (1) No. of sample, sampling site and soil type. (2) Depth of sampling, cm. (3) Humus %.

*Table 2.* Inorganic phosphorus fractions of the soils, ppm P. (1) No. of sample. (6) Organic  $\text{P}_{\text{II}+\text{III}}$  and residual P. (8) Total phosphorus.

*Table 3.* Distribution of phosphorus compounds in soils. (1) No. of sample. (2) Total P, ppm. (3) Inorganic P in ppm and in the percentage of total P. (4) Organic P in ppm and in the percentage of total P. (5) Organic P in the second and third fractions in ppm and in the percentage of organic P.

## Verteilung der P-Verbindungen in einigen charakteristischen ungarischen Böden

GY. FÜLEKY und GY. VARGA

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften,  
Budapest

### Zusammenfassung

Die Verteilung der einzelnen P-Verbindungen wurde in den aus der Ackerkrume von zwölf charakteristischen ungarischen Böden genommenen Proben bestimmt. Die Fraktionierung der anorganischen P-Verbindungen wurde nach Einführung einiger geringeren, den Zielsetzungen der Untersuchung entsprechenden Abänderungen mit der CHANG—JACKSON'schen Methode durchgeführt. Im Laufe der Fraktionierung wurde nur die adsorbierte, die an Aluminium, Eisen und Kalzium gebundene P-Fraktion abgetrennt. In dem somit erhaltenen Rückstand wurde der zurückgebliebene P-Gehalt bestimmt. In den mit  $\text{NH}_4\text{F}$ , bzw. mit NaOH extrahierten Fraktionen wurde ausser

dem anorganischen auch der organische P-Gehalt ermittelt. Aus getrennten Bodenproben geschah die Feststellung der Menge des gesamten und organischen Phosphors. Die Verteilung des organischen und anorganischen Phosphors war für die einzelnen Bodentypen charakteristisch. Die Menge der schwach gebundenen (adsorbierten) P-Verbindungen war in den gedüngten oder intensiv beweideten Böden bedeutend. Die Menge der Al- und Fe-Phosphate war in erster Reihe in dem Wiesen- und dem braunen Waldboden mit Toneinwaschungen beträchtlich. Zwischen der Menge der Fe-Phosphate und dem  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt des Bodens konnte ein negativer Zusammenhang beobachtet werden. Im Laufe der Vorversuche konnte eine bedeutende Menge (100–1000 ppm von in Reduktionsmitteln löslichen Phosphaten in den Böden, die reich an Al- und Fe-Phosphaten waren, gefunden werden. Die Menge der Ca-Phosphate war in acht der untersuchten Böden überwiegend, in den übrigen auch recht bedeutend. Die Reproduzierbarkeit der Fraktionierung war für die anorganischen P-Fraktionen entsprechend. Die Genauigkeit des Verfahrens ermöglicht die chemischen Umwandlungen der in den Boden eingearbeiteten P-Dünger zu verfolgen.

Tab. 1. Analysendaten der Bodenproben: (1) Benennung der Bodenproben. (2) Tiefe der Probenahme, cm. (3) Humusgehalt, %.

Tab. 2. Anorganische P-Fraktionen der Böden (ppm P). (1) Nummer der Bodenprobe. (6) Organischer P-Gehalt der II. und III. Fraktion und P-Gehalt des Rückstandes. (8) Gesamter P-Gehalt.

Tab. 3. Verteilung des Boden-Phosphors. (1) Nummer der Bodenprobe. (2) Gesamter P, ppm. (3) Anorganischer P-Gehalt in ppm und im %-Wert des gesamten P-Gehaltes. (4) Organischer P-Gehalt in ppm und im %-Wert des gesamten P-Gehaltes. (5) Organischer P-Gehalt der II. und III. Fraktion in ppm und im %-Wert des gesamten organischen P-Gehaltes.

## Распределение фосфорных соединений в характерных отечественных почвах

ДЬ. ФЮЛЕКИ и ДЬ. ВАРГА

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии ВАН, Вудапешт (Венгрия)

### Резюме

Распределение фосфора изучали в образцах, взятых из верхних горизонтов двенадцати характерных почв Венгрии. Фракционирование неорганического фосфора проводили методом Чанг и Джексон с необходимыми модификациями соответственно нашим целям. В ходе фракционирования выделяли только фракции адсорбированного фосфора, связанного с алюминием, железом и кальцием. В аммонийнофтористой вытяжке и в вытяжке гидроксидом натрия наряду с неорганическим фосфором определили содержание органического фосфора. В почвенных образцах, оставшихся после фракционирования определили остаточный фосфор, а в отдельных образцах — общий и органический фосфор. Распределение органического и неорганического фосфора в отдельных почвах изменялось в зависимости от особенностей почвенного типа. Количество слабо-связанных фосфатов было значительным в удобренных почвах или в почвах, на которых проводился интенсивный выпас. Содержание фосфатов алюминия и железа было значительным, в первую очередь, в луговой и илиммеризованной бурой лесной почве. Между содержанием фосфатов железа и карбонатов кальция в почве наблюдали отрицательную зависимость. В ходе предварительных исследований в почвах, содержащих относительно большое количество фосфатов алюминия и железа, обнаружили высокое содержание фосфора, растворимого в восстановителях (примерно 100 мг/кг). Содержание фосфатов кальция доминировало в восьми из изученных почв, и во всех почвах оно было довольно высоким. Воспроизводимость неорганических фракций фосфора была удовлетворительной у всех изученных почв. Точность метода позволяет использовать его при изучении изменений, вносимых в почву фосфорных минеральных удобрений.

*Табл. 1.* Данные анализа изученных почв. (1) Номер и название почвенного образца. (2) Глубина взятия почвенных образцов в см. (3) Гумус в %.

*Табл. 2.* Содержание в почвах фракций неорганического фосфора (Р в мг/кг). (1) Номер почвенного образца. (6) Органический фосфор II + III и остаточный фосфор. (8) Общий фосфор.

*Табл. 3.* Распределение содержания фосфора в почве. (1) Номер почвенного образца. (2) Общий фосфор в мг/кг. (3) Неорганический фосфор в мг/кг и в % от общего фосфора. (4) Органический фосфор в мг/кг и в % от общего фосфора. (5) Органический фосфор в II и III фракции в мг/кг и в % от органического фосфора.